

Acercamiento hacia un modelo de convergencia entre ip, atm y wdm

Andrés Lombo C.

Gloria Esperanza
Becerra F.

RESUMEN

El artículo presenta un panorama de la convergencia entre las tecnologías más empleadas para servicios, acceso y transporte de información en Latinoamérica. Se plantea y referencia la metodología necesaria para la formulación de modelos funcionales de convergencia orientado hacia los tres primeros niveles de interconexión (físico, enlace y red). El trabajo pretende establecer los pasos para un estudio más profundo de convergencia que permita tener criterios claros acerca de la conveniencia específica, en la región, de una u otra opción.

Palabras Clave: Convergencia, IP (Protocolo de Internet), ATM (Modo de Transferencia Asíncrono), WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda), MPLS (Conmutación MultiProtocolo por Etiquetas), Modelo Funcional Latinoamérica.

TOWARD A MODEL FOR IP, ATM AND WDM CONVERGENCE

ABSTRACT

The paper shows a convergence overview among the most used technologies for services, access and information transport in Latin America. The required methodology is stated and referenced for a convergence functional model formulation oriented to the first three interconnection levels (physical, link and network). This work wants to establish the steps for a deeper convergence study that allows having standards about the convenience of one option or another.

Key Words: Convergence, IP (Internet Protocol), ATM (Asynchronous Transfer Mode), WDM (Wavelength Division Multiplexing), MPLS (Multiprotocol Label Switching), Functional Model, Latin America.

INTRODUCCION

El cambio cultural que ha significado en la última

década el crecimiento de los servicios a través de Internet ha sido interpretado como la aparición de una nueva sociedad: la Sociedad de la Información. Esta nueva sociedad involucra particularmente una interacción permanente entre usuarios y proveedores de servicio, entre proveedores de servicio y redes de transporte de información y entre estas últimas y los proveedores de información y entretenimiento. La Convergencia entre ellos ha fortalecido tres grandes industrias: la Industria de las Telecomunicaciones, Industria de Tecnologías de Información y la Industria de la Información y el Entretenimiento. No solo se trata de hacer que las tecnologías en cada uno de esos tres campos converjan hacia el servicio y el usuario; se trata de generar ambientes propicios para la evolución de más servicios a través de una plataforma tecnológica que facilite la oferta y atraiga y estimule la demanda mostrándole al usuario cuanto más puede obtener de su conexión de red y de las herramientas de computación que disponga.

En la figura 1 se presenta un resumen de tecnologías convergentes para las tres grandes industrias involucradas en la llamada Sociedad de la Información.

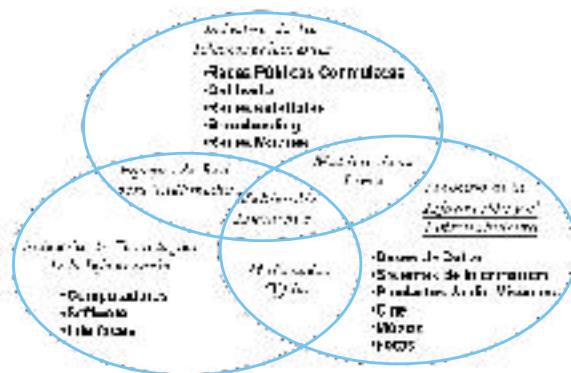


Fig. 1 Convergencia en la Sociedad de la Información

La UIT (Organización Internacional de las Telecomunicaciones) a través del NTC (Networking Technologies Center) [1] ha

Se trata de generar ambientes propicios para la evolución de más servicios a través de una plataforma tecnológica

propiciado la organización de estándares y recomendaciones entre las industrias arriba mencionadas y ha generado espacios para la discusión en los cuales se han reunido datos muy importantes para analizar la evolución tecnológica.

Por ejemplo: el número de servidores de Internet ha crecido en Latinoamérica a una tasa mucho más rápida que en cualquier otra región del mundo; entre 1993 y 1996, creció un 152.4% en tanto que en Europa solo creció un 63.8%. Se calcula que el número de servidores Internet en todo el mundo para los primeros años de la década del 2000-2010 estará alrededor de 120 millones.

Las inversiones por parte de proveedores locales y de larga distancia para servicios sobre Internet ascendieron a 53 mil millones de dólares en 1998, mientras que en 1996 eran solo de mil millones. Esto hace pensar que el crecimiento que presenta la infraestructura tecnológica debe ser impresionante y por lo tanto el orden con que se genere ese crecimiento es tarea primordial de la ingeniería de hoy.

La convergencia no solo se debe dar al nivel de industrias, sino también al nivel de los núcleos básicos de red (red de usuario, red de acceso y red de transporte) y de los protocolos que cada uno de ellos emplea para la transferencia de información del usuario. Se pueden identificar aquellos protocolos que dentro de cada núcleo han resultado más eficientes y con mayor número de puntos o equipos hay distribuidos por todo el mundo; sin embargo la solución planteada en este artículo quiere orientarse hacia la problemática específica de Latinoamérica.

De tal forma, se identifican aquellos protocolos de mayor rendimiento y mejor integración; por ejemplo: ATM emplea varios estándares de capa física como SDH y PDH, siendo la primera la infraestructura que mayor capacidad y flexibilidad ofrece a altas velocidades de transmisión. ATM sigue siendo la infraestructura de conmutación de paquetes que menores retardos de procesamiento adiciona en un trayecto completo entre dos usuarios de red.

Pero IP (Protocolo de Internet) sigue siendo la interfaz de usuario que mayor número de aplicaciones soporta, mayor número de servicios presta y es, con bastante ventaja, la plataforma de servicios con mayor número de puntos instalados en toda Latinoamérica y en el mundo.

A su vez SDH como infraestructura de transporte usa troncales de fibra óptica para la conexión de sus ADM (Multiplexores de Inserción y Extracción), pero sigue siendo una plataforma rígida de multiplexación temporal que requiere de un alto grado de procesamiento electrónico en cada nodo, que en la mayoría de los casos está generando "cuellos de botella" en la conexión extremo a extremo.

Por esto surge WDM (Multiplexación por Longitud de Onda) como la alternativa más confiable para reemplazar el procesamiento electrónico por un procesamiento óptico mucho más rápido y con inmunidad a la interferencia entre canales, explotando la inmensa capacidad de transmisión de la fibra óptica y multiplicando las posibilidades para usuarios y proveedores de servicios.

Estas y otras muchas razones que cada usuario de Internet percibe cada día, justifican realizar un estudio detallado de las tecnologías que soporten este crecimiento y plantear un modelo funcional de red, lo más flexible posible, que permita plantear la infraestructura óptima para soluciones integradas en redes multimedia sobre la plataforma de Internet.

El estudio aquí presentado se encamina hacia la revisión de las tendencias en diferentes campos estratégicos que apoyan directamente el fenómeno mencionado, la revisión de experiencias similares en algunas partes del mundo y el planteamiento de un modelo adaptado a las necesidades de Latinoamérica como sociedad con limitaciones, pero también con un gran potencial como productor y consumidor, dentro de esa Sociedad de la Información.

La sección I muestra una revisión de las tendencias actuales enfocada sobre tres aspectos claves: (1) Internet, el protocolo IP y los servicios que presta, (2) ATM (Modo de Transferencia Asíncrono) como la plataforma más flexible de acceso y puente hacia una red de transporte y (3) las redes ópticas con WDM (Multiplexación por División en Longitud de Onda) como la infraestructura con mayor capacidad y fiabilidad para transportar las grandes cantidades de información requeridas para asegurar los parámetros de Calidad de Servicio (QoS).

La sección II presenta una revisión de las técnicas para formulación de modelos funcionales en redes de acuerdo con estándares internacionales.

Surge WDM como la alternativa más confiable para reemplazar el procesamiento electrónico por un procesamiento óptico mucho más rápido y con inmunidad a la interferencia entre canales,

La sección III resume algunos casos destacados de convergencia en IP sobre infraestructuras de transporte robustas y describe algunos factores clave para la evaluación de los modelos. Finalmente, en la sección IV se plantea un modelo adaptado y orientado hacia el ambiente de Latinoamérica. Igualmente se presentan conclusiones de importancia para el lector.

SECCION I: TENDENCIAS TECNOLÓGICAS EN IP, ATM Y WDM

Se han detectado las plataformas tecnológicas que más servicios están prestando hoy en día, con mayor número de equipos instalados, y que reportan más inversiones realizadas y proyectadas en todo el mundo y con mayor proyección hacia el futuro; estas son: IP como plataforma de múltiples servicios integrados (multimedia) incluyendo voz, datos, etc.; ATM, como estructura flexible de conmutación de paquetes adaptable a múltiples servicios y con procedimientos específicos para satisfacer las exigencias del cliente en cuanto a Calidad de Servicio; y, WDM como infraestructura sólida y confiable de transporte con mecanismos de enrutamiento y protección.

Estadísticas al nivel internacional han demostrado que el volumen de tráfico vocal a través de redes de datos aumenta a un nivel tal que para el año 2005 el 35% del tráfico telefónico será a través de Internet. La figura 2 muestra la evolución del tráfico telefónico.

Actualmente en diferentes empresas en el mundo se están realizando desarrollos cuyo objetivo es la transmisión de voz sobre diversos medios.

Se pretende desarrollar aplicaciones de software que funcionen con H.323, interfaces entre la Red Telefónica Pública Conmutada (RTPC) y la red ATM, de acuerdo a las normas H.323 y relacionadas de la ITU-T, de tal manera que se

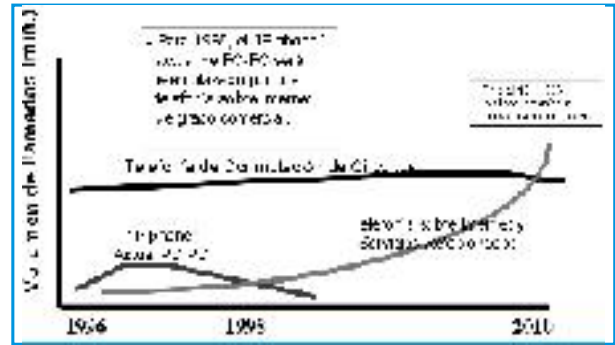


Figura 2. Estadísticas de Telefonía sobre redes de datos.
Fuente: MCI

soporte el transporte de la telefonía básica directamente sobre la red ATM, a través de la capa de adaptación AAL, lo que permite que el sistema resultante aproveche directamente todos los beneficios que ésta tecnología le ofrece.

Pero también se puede pensar en servicios vocales directamente conectados a la red ATM y no necesariamente provenientes de una RTPC; de cualquier forma siempre se ve como requisito el interfuncionamiento entre las redes ATM y las RTPC.

En la figura 3, la interfaz entre la Red Telefónica tradicional (RTPC) y la red ATM, es el servidor Windows NT, sobre el cual se tiene el hardware necesario para conectarse en las 2 redes; se desarrolla el software que realice en general las siguientes funciones de Gateway: Adaptación del equipo terminal a la capa AAL que corresponda, lo que involucra traducción entre formatos de transmisión y procedimientos de comunicación.

Para el desarrollo de las aplicaciones software se parte del conjunto de recomendaciones relacionadas con la H323 de la ITU-T dado que es una norma que determina los estándares para comunicaciones multimedia sobre redes de área local (LANs), las que no garantizan calidad de servicio (QoS : Quality of Service). Los beneficios claves que H.323 ofrece son los siguientes: estandarización de códigos,

que el volumen de tráfico vocal a través de redes de datos aumenta a un nivel tal que para el año 2005 el 35% del tráfico telefónico será a través de internet.

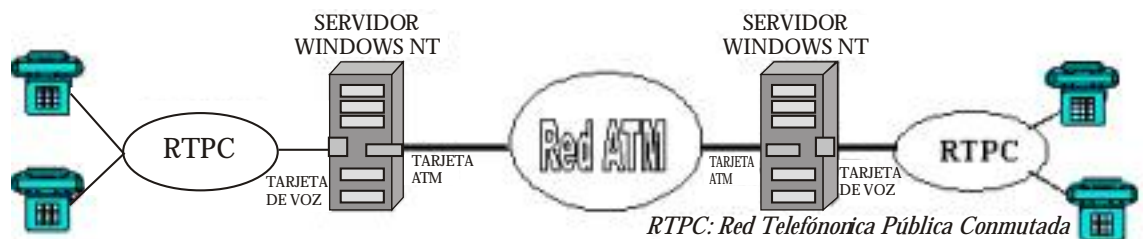


Figura 3. Interfaz entre la RTPC y una red ATM

interoperabilidad, independencia de las redes, independencia en cuanto a la aplicación y la plataforma, soporte multipunto, administración del ancho de banda, etc.

Tendencias actuales en IP e Internet:

Uno de los adelantos más importantes en el mundo de Internet es su evolución hacia Internet 2, o Internet de Segunda Generación, caracterizada por la gran capacidad de transferencia de información y las facilidades de interconexión que presenta. Estados Unidos ha sido el país que mayor número de iniciativas ha adelantado hasta ahora, dentro de las cuales vale mencionar las siguientes [2]:

- Abilene: es una red de transporte que soporta el desarrollo de nuevas aplicaciones sobre la comunidad de Internet2. Conecta puntos de agregación de red regionales llamados GigaPOP para soportar el trabajo de las Universidades.

Desarrollado por UCAID (University Corporation for Advanced Internet Development) y empresas como Qwest Communications International, Nortel y Cisco Systems. Esta iniciativa ha seguido un desarrollo muy similar a la llamada vBNS (very High Speed Backbone Network Services) también en Estados Unidos.

- CUDI (Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet): iniciativa mexicana que conecta entre sí universidades e instituciones del Distrito Federal, Monterrey, Guadalajara y Tijuana con el backbone de Sprint / MCI en Estados Unidos; emplea medios de transmisión en fibra óptica a velocidades de transporte STM-1 y acceso en E-3.

Es una iniciativa con miembros de tres tipos: académicos (17 universidades), institucionales y afiliados. Desarrolla aplicaciones como: biblioteca digital, educación a distancia, telemedicina, supercomputación, computación distribuida, laboratorios virtuales, telerobótica, astronomía, ciencias de la tierra, geomática y visualización.

- NCNI (North Carolina Network Initiative): programa que congrega varias universidades en Carolina del Norte, Estados Unidos, para el establecimiento, investigación y desarrollo de GigaPOPs a través de un backbone de fibra

óptica con multiplexación WDM y tecnología Internet2.

Consolidación de Servicios Multimedia sobre Redes IP: Los elementos que tradicionalmente han formado parte de las comunicaciones empresariales, como centralitas telefónicas, redes de datos, sistemas de videoconferencia, etc., evolucionan hacia un nuevo escenario de integración total o consolidación sobre IP. La evolución de las tecnologías de la era audiovisual sugiere una redefinición del término "comunicación", queriendo decir algo más que intercambiar documentos o datos, hablar, ver, videoconferenciar.

Factores clave de esta consolidación son: la implantación definitiva del protocolo IP desde los ámbitos empresariales a los domésticos, la convergencia de la tecnología ATM e IP y la aparición de estándares como VoIP (Voz sobre IP), H.323 (Videoconferencia en LAN), etc.. Otro factor, es la apuesta definitiva por VoIP de fabricantes como Cisco Systems o Nortel-Bay Networks. Por otro lado los operadores de telefonía e ISPs (Proveedores de Servicios de Internet) están ofreciendo o piensan ofrecer en un futuro cercano, servicios IP de alta calidad a las empresas.

Tendencias en ATM: Los servicios que hoy presta ATM van desde acceso a Internet hasta la interconexión transparente de redes LAN y redes Frame Relay. Las nuevas arquitecturas y tecnologías aplicadas en ATM permiten también transportar servicios de voz sobre ATM, incluidos los usuarios de las redes públicas, usuarios de PBX y usuarios móviles, ofreciendo servicios adicionales como reenvío de llamadas, llamada en espera, identificación del llamante, etc. En esencia, representa la convergencia entre servicios de voz y de datos sobre una sola red y una sola línea de acceso.

Otras características sobresalientes de ATM son:

Emulación de LAN sobre ATM: asegura la interoperabilidad con otros protocolos existentes y entre aplicaciones corriendo sobre IP, IPX, DECnet, AppleTalk, NetBIOS.

Maneja en forma transparente las diferencias entre redes no orientadas a conexión (LAN convencionales) y aquellas orientadas a conexión (ATM). Permite el encapsulamiento de datos; traduce direcciones MAC (48 bytes) a direcciones ATM (20 bytes).

es su evolución hacia Internet 2, o Internet de Segunda Generación, caracterizada por la gran capacidad de transferencia de información y las facilidades de interconexión que presenta.

IP sobre ATM: permite la interoperabilidad entre todas las redes IP existentes, simplifica la administración sobre redes IP virtuales, facilita la conexión con múltiples plataformas (Ethernet, Token Ring, FDDI) y satisface la resolución entre direcciones IP (4 bytes) y ATM (20 bytes); igualmente hacer gestión de grupos de usuarios con conexiones multicast.

Servicios de Emulación de Circuitos: se emplean para transportar circuitos tradicionales TDM (Multiplexación por División de Tiempo) a través de una infraestructura ATM, usando AAL-1 (Adaptación a ATM tipo 1) y CBR (Velocidad de Bit Constante), sobre conexiones permanentes o conmutadas. Conmutadores ATM pueden actuar como conmutadores de voz y generan conexiones de señalización usando SS7 (Señalización por Canal Común No. 7). Esta facilidad permite reemplazar los circuitos PDH y SDH por trayectos y circuitos virtuales ATM.

Igualmente se han destacado algunas iniciativas de redes que han impulsado la evolución de ATM. Xunet2 es una red ATM que empezó de manera experimental en 1989 con switches ATM, routers IP y líneas de transmisión a 45Mb/s entre ocho grupos de investigación en los Estados Unidos.

Otras iniciativas alrededor de todo el mundo han permitido la evaluación de prototipos y el establecimiento de nuevos servicios y capacidades sobre ATM. Alcatel y Bell Telephone [3], por ejemplo, montaron una red basada en conmutadores ATM sobre una estructura de Red Óptica Pasiva (PON) sobre la cual integraron servicios de Video por Demanda para una red de televisión por cable (CATV) y una red híbrida de acceso con ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

Tendencias en WDM:

La evolución de las redes de transporte ha significado una evolución significativa desde nodos de procesamiento electrónico hacia nodos de procesamiento óptico, reduciendo la cantidad de operaciones por paquete o celda transportado y aumentando la velocidad casi hasta el límite de la velocidad de la luz. Una red fotónica [4] es abierta, no almacena paquetes en la red, emplea nodos y componentes en su mayoría pasivos, y está orientada al usuario; en tanto, las

tradicionales redes de transporte son cerradas, almacenan paquetes en buffers, emplean conexiones de múltiples saltos y están orientadas hacia la misma red, no al usuario. La figura 4 permite comparar el cambio evolutivo de las redes tradicionales a las redes fotónicas con WDM.

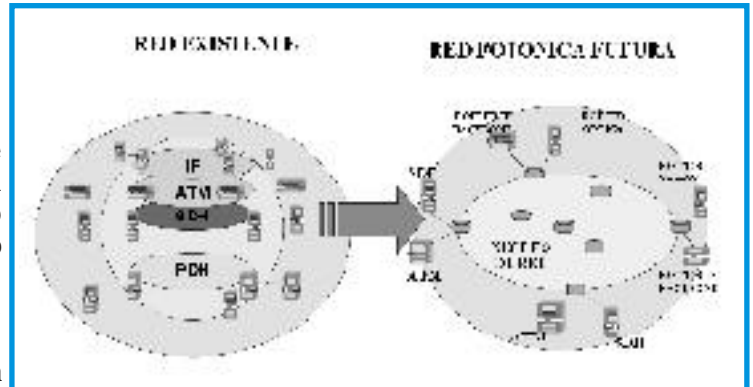


Figura 4. Evolución de la red existente hacia la red fotónica.

Una red fotónica consiste de un núcleo de transporte con abundante capacidad de transmisión y nodos ópticos de alto caudal efectivo; y el procesamiento electrónico de los paquetes o celdas, solo se realiza en la parte externa de la red por nodos que están conectados entre sí por trayectos ópticos directos configurados sobre el núcleo a través de la asignación de longitudes de onda para cada ruta.

Sin embargo la evolución de WDM no significa el reemplazo total de otras estructuras de transmisión; se plantea así, la utilización de multiplexores de longitud de onda (WDM) a partir de STM-1 (OC-3 ó 155 Mb/s), STM-4 (OC-12 ó 622 Mb/s), STM-16 (OC-48 ó 2.48 Gb/s) y STM-64 (OC-192 ó 9.95 Gb/s) a medida que la necesidad de transmisión vaya en aumento. Cada multiplexor óptico recoge el tráfico de los ADM's de SDH o de los puertos de los conmutadores ATM, y los encamina hacia la red óptica pasiva (PON) de alta capacidad.

C. Blaziot y colaboradores presentan en [5] una metodología muy adecuada para el diseño, planeación y dimensionamiento de redes de transporte basadas en dos capas: una eléctrica SDH/SONET y otra óptica WDM; la importancia del método mostrado radica en optimizar una metodología que tenga en cuenta los costos de complementar o reemplazar una capa con la otra

SECCION II: FORMULACION DE MODELOS FUNCIONALES EN REDES

Basados en los antecedentes mencionados y en la tendencia hacia la integración de servicios, se debe plantear un modelo de red que permita satisfacer los requerimientos del usuario, siendo a la vez acorde con las tendencias tecnológicas. La formulación del modelo debe seguir ciertos parámetros ya establecidos por las organizaciones de estandarización.

La ITU establece en la recomendación G.902 algunos ejemplos de modelos funcionales de capas de red inferiores de la capa de acceso; en ese documento se definen también las funciones de puerto de usuario, de puerto de servicio, de transporte y de gestión en una red de acceso.

En la recomendación G.805 establece un modelo de arquitectura funcional genérica de las redes de transporte. En ambos casos se sigue una metodología para la designación de puntos de acceso e interconexión de capas, se definen los componentes de la arquitectura (componentes topológicos, entidades de transporte, funciones de transporte y puntos de referencia, así como esquemas para la subdivisión y estratificación de la red). Para la definición de estos modelos se emplea lenguaje Z, adoptado por ITU para tal propósito.

Z es una notación formal basada en la teoría de conjuntos y en la lógica de predicados de primer orden. El concepto de modelación básico de Z es el conjunto. Como se hace en matemáticas, puede definirse un conjunto bien por extensión (enumerando sus elementos) o por comprensión (proporcionando un predicado al que deben satisfacer todos los elementos potenciales). Ello equivale a la definición de un tipo. Una forma conveniente de definir un tipo por comprensión en Z es mediante la definición de un esquema. Un esquema puede o no tener nombre. Puede utilizarse un esquema nominado para definir un tipo o una operación y tiene la siguiente forma:

Nombre-esquema

Declaración

...

Predicado

Donde la declaración está constituida por una lista de características del esquema; y el predicado es una lista (posiblemente vacía) de predicados que especifican invariantes, precondiciones o postcondiciones [6].

Siguiendo la notación y las convenciones gráficas establecidas en la recomendación G.805 [6], la figura 5 muestra un modelo funcional para la arquitectura genérica de una red de transporte ATM soportada por SDH.

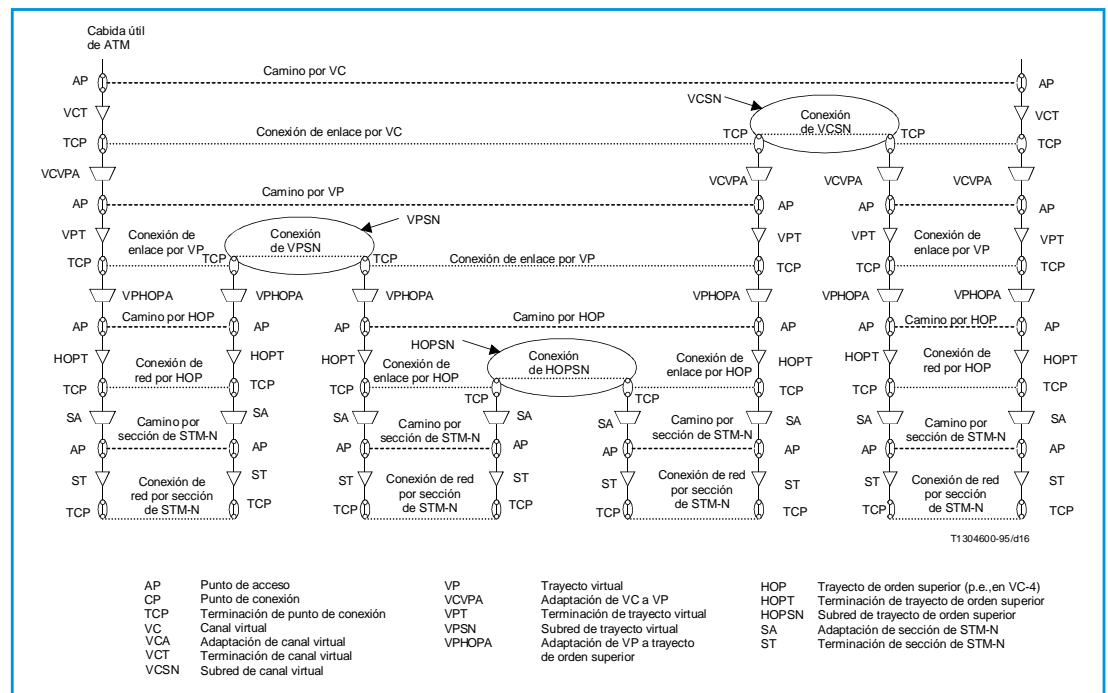


Figura 5. Arquitectura funcional de una red ATM sobre SDH

En la figura 5 se destaca la integración de capas a través de puntos de acceso (AP) y terminaciones de puntos de conexión (TCP) que para el caso serán las respectivas funciones de adaptación (partes comunes y funciones de segmentación y reensamble) para IP como cliente de ATM y a su vez de ATM como cliente de una red óptica ya sea bajo una estructura de multiplexación en el tiempo (SDH o PDH) o directamente sobre una red WDM.

De la misma forma la figura 6 presenta un modelo de arquitectura funcional en la parte de acceso a una red óptica pasiva (PON) según los esquemas definidos en la recomendación G.964.

SECCION III: MODELOS QUE SE PLANTEAN PARA ASEGURAR LA CONVERGENCIA

Con los esquemas presentados en la sección anterior se presentan varias posibilidades que no se han dibujado por simplicidad; aún así, merecen ser explicadas y comparadas algunos de los posibles modelos que aseguran la convergencia de servicios IP sobre una estructura de transporte fuerte y flexible como es la de red óptica. Teniendo en cuenta que IP es el protocolo que recibe la mayor cantidad de servicios (voz, datos, video, etc.) [7] las alternativas de convergencia serían las siguientes:

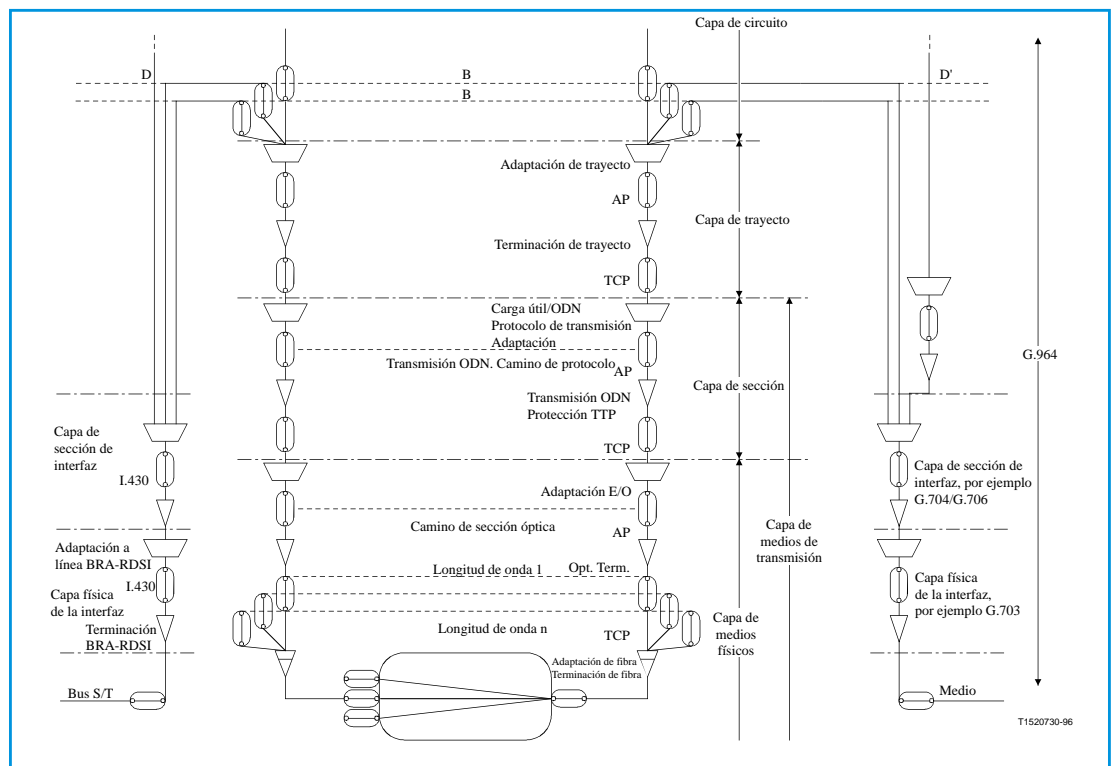


Figura 6. Arquitectura funcional para una red óptica pasiva.

En la figura 6 se representa la frontera de capas / subcapas consideradas generalmente como importantes para la definición funcional de las redes de acceso. Este ejemplo se basa en los requisitos funcionales de la interfaz de nodo de servicio orientada a modo circuitos definida en la Recomendación G.964 y en una red óptica pasiva. La multiplexación de los canales D individuales de usuario se realiza en una capa superior, por lo que no se ha representado en la figura. En este caso la figura representaría las diferentes formas de acceso de usuarios IP o ATM a una estructura de red óptica pasiva WDM.

●IP-SDH-WDM (fibra óptica): enrutadores IP en la red de acceso tributan su tráfico a equipos ADM de SDH; directamente se mapean en contendores virtuales de SDH los paquetes IP con las correspondientes funciones de alineamiento, justificación y administración según la velocidad del tributario, dentro de un Módulo de Transferencia Sincrónico (STM-1) y se multiplexan (por intercalado de octetos) varios de ellos si fuese necesario en un STM-n; sin embargo la práctica dice que muy pocos son los enrutadores IP que tienen puertos seriales con velocidades mayores de un STM-1.

Una visión cercana a esta alternativa de convergencia es dada bajo el esquema IP-PPP(o HDLC)-SDH-WDM parcialmente contenido en la RFC 1619.

- IP-ATM-WDM (fibra óptica): ahora se tiene en cuenta que la labor de conmutación de paquetes no la realiza IP (de hecho IP no es una infraestructura para conmutación) sino los conmutadores ATM que se encargan de administrar los paquetes IP y realizar la adaptación correspondiente según AAL-5 y configurar los caminos virtuales entre origen y destino.

Los actuales conmutadores ATM disponen de interfaces en fibra que hacen simple la adaptación al medio físico a través de las funciones dependientes del medio físico (PMD) definidas en las recomendaciones de ITU para ATM. A pesar de que los organismos internacionales que han tenido a cargo la normalización de IP y de ATM no han conformado un grupo de trabajo para la convergencia, el grupo de ACTS ha conformado el comité llamado NIG-G3 "Draft Guideline for Internet and ATM Coexistence", que ha planteado la convergencia IP sobre ATM a tres niveles así:

- Nivel 1: IP sobre una capa intermedia sobre ATM (por ejemplo IP sobre LANE).
- Nivel 2: IP sobre ATM (por ejemplo IP Clásico, MARS, NHRP, MPOA).
- Nivel 3: IP unido con ATM (por ejemplo MPLS).
- IP-WDM (fibra óptica): es la opción ideal y más eficiente, aún cuando presupone un pre-procesamiento electrónico de los paquetes IP en una subcapa de WDM dedicada específicamente a definir los trayectos ópticos para cada ruta requerida por los paquetes IP.

No se puede decir que hay soluciones comercialmente factibles para implantar este esquema.

- IP-MPLS-WDM (fibra óptica): otra opción viable basada en el etiquetamiento tipo lambda de MPLS (Conmutación por Etiquetamiento de Múltiples Protocolos) [8], implica la implantación de una subcapa de entramado y monitoreo de tramas también usada para detección y ubicación de fallas. Otros esquemas muy similares pero que no manejan fallas son IP-Gigabit Ethernet- WDM, o aquellos que usan alguna otra forma de Control de Acceso a Medio (MAC).
- En cualquier caso se plantea la necesidad de realizar ciertas funciones en la capa física para lo que se ha planteado la necesidad de tener un esquema de trama de nivel óptico, módulo de transporte óptico o contenedor óptico [9] formada por varios canales cada uno con una carga útil dentro de la cual se maneja un encabezamiento de trayecto óptico de un formato similar al de SDH. En el caso de ATM (segunda opción de convergencia) se adicionan 3 bytes a la celda de 53 bytes para las funciones de sincronización [10].

Un punto importante dentro de los esquemas de convergencia es establecer un análisis comparativo entre ellos desde varios puntos de vista como: gestión de tráfico, diseño de los conmutadores, control de red y enrutamiento eficiente; este trabajo será objeto de otra publicación posterior.

Otra parte importante de la convergencia debe ser el aseguramiento de la red como infraestructura de servicios, interconexión y transporte, para lo que se requiere un esquema de protección de la red.

Se han planteado esquemas de protección de red bajo el punto de vista de servicios y orientado justamente hacia la capa de transporte óptico, en contraste con los esquemas ya estandarizados para SDH y SONET y que pueden ser apreciados en la figura 7 bajo la notación y convenciones de la sección anterior [6].

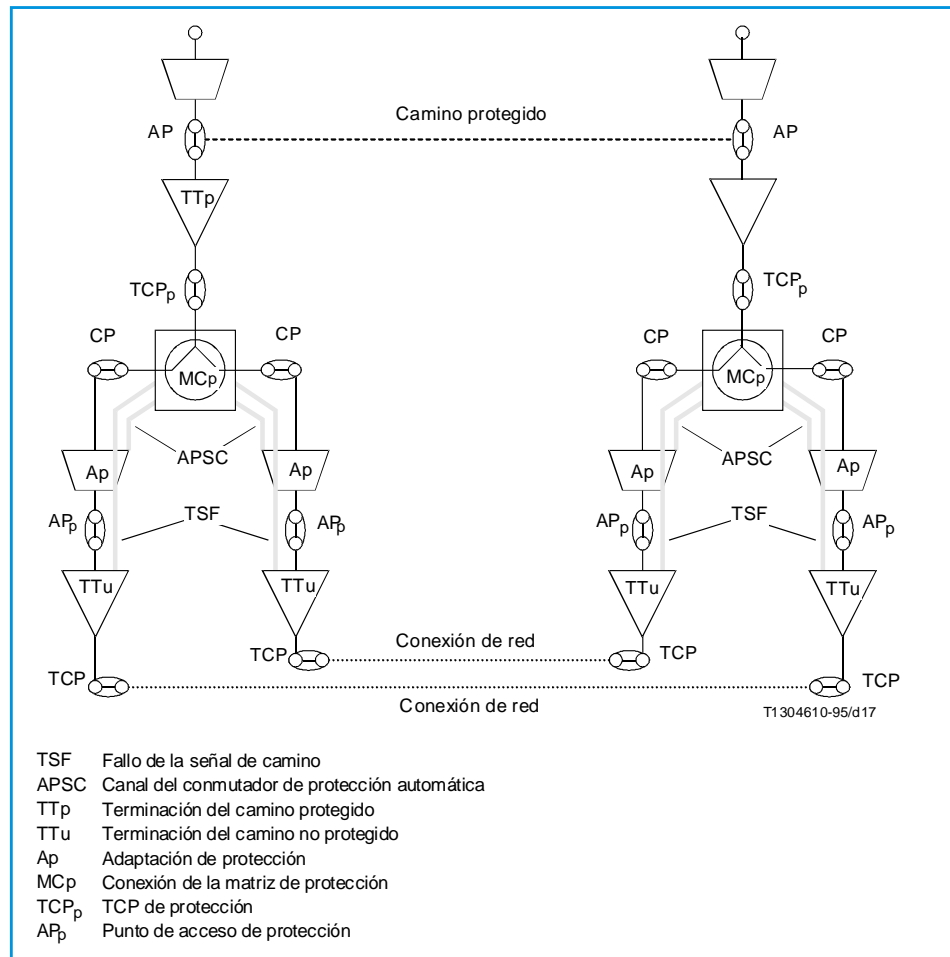


Figura 7. Esquema de protección de trayectos ópticos.

SECCION IV: HACIA UN MODELO DE CONVERGENCIA PARA LATINOAMERICA

Basados en los esquemas de convergencia planteados y las consideraciones de notación y convenciones conservadas hasta ahora se puede plantear un diseño jerárquico de redes ópticas WDM para transporte de ATM - IP en una forma similar a como lo realizan Jagannath, Bala y Mihail en [11]. La parte importante del diseño consiste en un adecuado dimensionamiento de la capa ATM y la capa WDM siguiendo los parámetros dados en [5]:

Paso 1: Análisis de la demanda de tráfico

Paso 2: Selección de Arquitectura de Red

Paso 3: Diseño de la red y dimensionamiento de las capas ATM, SDH, WDM, etc.

Paso 4: Análisis de disponibilidad de la red,

predicción y simulación de fallas.

Paso 5: Análisis de alternativas por costos, flexibilidad, actualización y disponibilidad.

El seguimiento de este esquema debe estar personalizado hacia el caso Latinoamericano, en donde las condiciones son radicalmente distintas a las de otras regiones, de ahí que no se puedan adoptar directamente conclusiones de estudios realizados en regiones con una densidad de puntos de acceso a servicios IP, con infraestructuras de ATM diferentes y capacidades de transporte WDM mayores que las que disponemos en esta región.

Igualmente se espera que las recomendaciones del NIG-G3 produzcan un marco de trabajo lo más sencillo posible, tanto para usuarios finales como para proveedores de servicio.

Sin embargo esta no es la única alternativa: el prescindir de los servicios de ATM para

transportar IP directamente hacia facilidades de capa física puede llegar a ser una opción factible y económica desde el punto de vista de eficiencia del protocolo, disminuyendo la cantidad de encabezamientos y bytes adicionales requeridos en funciones de control (de errores, de flujo, de congestión, etc.)

IP sobre WDM incluyendo una capa de preprocesamiento electrónico de paquetes muy cercana a las capacidades de transmisión WDM se presenta también como una solución eficiente.

Una ventaja que tiene Latinoamérica respecto a otras regiones es el momento de desarrollo de su infraestructura de telecomunicaciones en que se encuentra; la adopción de una u otra alternativa en estos momentos no significaría la pérdida de grandes inversiones, por el contrario, llegaría en el momento justo en el cual la decisión debe tomarse antes de comprometerse con una tecnología.

Cada uno de los pasos antes mencionados será objeto de un proyecto específico, encadenado y consecuente con cada etapa que se desarrollará dentro de las actividades de los grupos dirigidos por los autores.

CONCLUSIONES

Se han planteado las pautas de acción para la convergencia de redes con tecnologías de punta que se han desarrollado comercialmente en el entorno latinoamericano. Igualmente se han definido las líneas de acción para proyectos específicos en el área de comunicaciones para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital, específicamente en el área de Telemática y Telecomunicaciones, en torno al problema de la Convergencia Tecnológica IP-ATM-WDM. Se pretende integrar las labores de investigación de dos grupos que ya han recorrido camino y han recolectado experiencias en el área. Los resultados de este trabajo conjunto serán objeto de otros reportes.

REFERENCIAS

- [1] ITU. www.itu.int. NTC. Networking Technologies Center.
- [2] Collins, J. et al. Data express: a Gigabit junction with the next-generation Internet. *IEEE spectrum*, feb. 1999. pp.18-25.
- [3] Van der Plas, G., et al. Demonstration of an AATM-based Passive optical Network in the FTTH trial on Bermuda. *IEEE Globecom '95*. pp. 988-992.
- [4] Yoshimura, H., et al. Future Photonic Transport Networks Based on WDM Technologies. *IEEE Communications Magazine*. Feb. 1999. pp. 74-81.
- [5] Blaziot, C., et al. Design and Planning of Transport Networks based on SDH/SONET and WDM Optical Networks: Methods, Tools and Applications. *SPIE Optical Networks magazine*. Jul. 2000. Pp. 55-65.
- [6] ITU-T. Recomendación G.805. Arquitectura Funcional genérica de las Redes de Transporte.
- [7] Ghani, N., et al. On IP-over-WDM integration. *IEEE Communications Magazine*, Marzo 2000. Pp. 72-84.
- [8] *IEEE Communications Magazine* Dic. 1999. Multiprotocol Label Switching. Tópico especial.
- [9] Okamoto, S., et al. IP Backbone Network utilizing Photonic Transport Network Technologies. *SPIE Optical networks Magazine*. Enero 2000. pp. 19-28.
- [10] Van der Voorde, I., et al. The Super PON Demonstrator: A Exploration of Possible Evolution Paths for Optical Access Networks. *IEEE Communications Magazine* Febrero 2000. pp. 74-82.
- [11] Jagannath, S. Et al., Hierarchical Design of WDM Optical Networks for ATM transport. *IEEE Globecom '95*. pp.2188-2194.

.....

Andrés Lombo Carrasquilla.

Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magister en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Los Andes. Investigador Principal del Laboratorio de Aplicaciones Optoelectrónicas en la línea de Comunicaciones Ópticas. Director del Grupo de Optoelectrónica y Microelectrónica de la Universidad Distrital. Profesor Facultad de Ingeniería Universidad Distrital. laoe@udistrital.edu.co

Gloria Esperanza Becerra Forigua.

Ingeniera de Sistemas y Especialista en Informática Industrial Universidad Distrital. Estudiante del Doctorado en Ingeniería de Telecomunicaciones en la Universidad Politécnica de Valencia, España. Investigadora Principal del Grupo de Investigación en Interconexión de Redes ATM - GIIRA. Profesora Facultad de Ingeniería Universidad Distrital. gatm@udistrital.edu.co